



UNIVERSIDAD DE LA RIOJA

TRABAJO FIN DE ESTUDIOS

Título

NEUROEDUCACIÓN

Autor/es

RODOLFO SOMOVILLA MARTÍNEZ

Director/es

JUAN CARLOS SÁENZ DIEZ MURO

Facultad

Escuela de Máster y Doctorado de la Universidad de La Rioja

Titulación

Máster Universitario de Profesorado, especialidad Tecnología

Departamento

INGENIERÍA ELÉCTRICA

Curso académico

2018-19



NEUROEDUCACIÓN, de RODOLFO SOMOVILLA MARTÍNEZ
(publicada por la Universidad de La Rioja) se difunde bajo una Licencia Creative
Commons Reconocimiento-NoComercial-SinObraDerivada 3.0 Unported.
Permisos que vayan más allá de lo cubierto por esta licencia pueden solicitarse a los
titulares del copyright.

Trabajo de Fin de Máster

NEUROEDUCACIÓN

Autor

Rodolfo Somovilla Martínez

Tutor: Juan Carlos Sáenz-Díez Muro

MÁSTER:
Máster en Profesorado, Tecnología (M07A)

Escuela de Máster y Doctorado



AÑO ACADÉMICO: 2018/2019

1. RESUMEN	2
2. INTRODUCCIÓN Y JUSTIFICACIÓN	3
2.1. EJEMPLOS DE LAS APLICACIONES DEL APRENDIZAJE BASADO EN EL CEREBRO	3
2.2. DOCE PRINCIPIOS DE APRENDIZAJE DEL CEREBRO/MENTE:	9
2.3. TRES CONDICIONES PARA EL APRENDIZAJE	12
2.4. LOS “NEUROMITOS” QUE RODEAN A ESTA DISCIPLINA	13
2.5. VENTANAS PLÁSTICAS	14
2.6. ACTIVIDAD FÍSICA Y DESARROLLO COGNITIVO	15
3. PLAN DE TRABAJO	19
3.1. ESTRATEGIAS BASADAS EN EL FUNCIONAMIENTO DEL CEREBRO	21
3.1.1. NUESTRO CEREBRO CAMBIA Y ES ÚNICO	21
3.1.2. LAS EMOCIONES SÍ IMPORTAN	22
3.1.3. LA NOVEDAD ALIMENTA LA ATENCIÓN	22
3.1.4. EL EJERCICIO FÍSICO MEJORA EL APRENDIZAJE	23
3.1.5. LA PRÁCTICA CONTINUA PERMITE MEJORAR	23
3.1.6. EL JUEGO NOS ABRE LAS PUERTAS DEL MUNDO	24
3.1.7. SOMOS SERES SOCIALES	24
4. MARCO TEÓRICO	25
4.1. PARA APRENDER HAY QUE EMOCIONARSE	25
4.2. LA LETRA CON SANGRE NO ENTRA	26
4.3. ¿QUÉ FUNCIONA EN EDUCACIÓN?	27
4.4. SIN EMOCIÓN NO HAY RAZÓN	27
4.5. ESTRATEGIAS BASADAS EN EL FUNCIONAMIENTO DEL CEREBRO	29
4.5.1. NUESTRO CEREBRO CAMBIA Y ES ÚNICO	29
4.5.2. LAS EMOCIONES SÍ IMPORTAN	30
4.5.3. LA NOVEDAD ALIMENTA LA ATENCIÓN	31
4.5.4. EL EJERCICIO FÍSICO MEJORA EL APRENDIZAJE	31
4.5.5. LA PRÁCTICA CONTINUA PERMITE PROGRESAR	32
4.5.6. EL JUEGO NOS ABRE LAS PUERTAS DEL MUNDO	33
4.5.7. SOMOS SERES SOCIALES	33
4.6. ¿CÓMO ESTIMULA EL EJERCICIO FÍSICO AL CEREBRO?	34
4.6.1. EJERCICIO AERÓBICO REGULAR PARA MEJORAR LA ATENCIÓN	35
4.6.2. HERRAMIENTA PREVENTIVA CONTRA LA DEMENCIA	36
4.6.3. NOS AYUDA A MEMORIZAR MEJOR:	36
5. CONCLUSIONES	37
6. BIOGRAFÍA/REFERENCIAS	40

1. Resumen

La neurociencia y la educación deberían establecer entre sí una colaboración más estrecha. Las iniciativas que ya se han llevado a cabo en este sentido como la revista “Mind, Brain and Education”, son importantes, pero insuficientes. La escuela no sólo debería aprovechar los descubrimientos producidos en el ámbito de la neurociencia, sino también debería demandar a los neurocientíficos la aclaración de ciertos temas de interés educativo. Dicho de otro modo, la educación debería establecer parte de la agenda de la neurociencia educativa. La neurociencia debería conseguir a este respecto cuatro objetivos:

- Ayudar a los profesores a entender el proceso educativo.
- Ayudarles a resolver trastornos del aprendizaje de origen neurológico.
- Ayudarles a mejorar los procesos de aprendizaje y a incrementar las posibilidades de la inteligencia humana, sugiriendo nuevos métodos y validando los elaborados por la pedagogía.
- Ayudar a establecer sistemas eficientes de interacción entre cerebro humano y tecnología.

Abstract

Tighter collaboration between neuroscience and education should be established. The initiatives already carried out, such as the journal “Mind, Brain and Education”, are important but insufficient. School should not only take advantage of the neuroscientific discoveries, but also demand neuroscientists to clarify certain topics. That is, education must set part of the educative neuroscience agenda. Neuroscience must achieve four targets:

- Help teachers understand the educative process.
- Help them solve learning disorders of neurological origin.
- Help them improve the learning processes and increase the possibilities of human intelligence by suggesting new methods and by validating those elaborated by pedagogy.
- Help them establish efficient interaction systems between brain and technology.

2. Introducción y justificación

2.1. Ejemplos de las aplicaciones del aprendizaje basado en el cerebro

Las evidencias sugieren que el estrés es un factor significativo en la creatividad, la memoria, el comportamiento y el aprendizaje. Los educadores que intencionadamente manejan los factores de estrés en el aula es probable que consigan un entorno positivo. Hay muchos caminos para reducir el estrés en las aulas, tales como integrar ejercicios de estiramientos, incorporar descansos, enseñar a afrontar los problemas, utilizar la educación física.

Las evidencias sugieren que niveles de glucosa moderados mejoran la creación de memoria del alumno. Dado que la glucosa puede ser mejorada a través de la comida, la estimulación de las emociones y la actividad física, los educadores pueden organizar estrategias instructivas de modo que los estudiantes puedan mantener mejor unos niveles de glucosa moderados. Esta estrategia puede ayudar a los estudiantes a formar una memoria más fuerte.

La neurociencia puede enseñarnos mucho sobre la forma en que las personas aprendemos y adquirimos nuevos conocimientos, algo que obviamente podría tener una aplicación directa en el aula.

A pesar de que aún queda muchísimo camino por delante en este campo, la neurociencia ya ha descubierto algunos elementos que han resultado ser esenciales para favorecer la creación de nuevas conexiones entre neuronas y, por lo tanto, para el aprendizaje. Se resumen a continuación algunos de los conocimientos sobre el cerebro que pueden contribuir a revolucionar la práctica pedagógica:

- **Las emociones son las protagonistas:** El estado emocional condiciona fuertemente el funcionamiento del cerebro. El estado de ánimo puede modular las funciones cerebrales superiores (lenguaje, toma de decisiones, memoria, percepción, atención), determinando la adquisición de nuevos conocimientos.
- **No hay “buenos” ni “malos” estudiantes:** El cerebro ha demostrado tener una increíble capacidad de aprender y reaprender, y por eso no debemos pronosticar el éxito o fracaso de ningún estudiante. Los cambios

que sufrirá su personalidad a lo largo de su vida hacen que no podamos establecer que un determinado comportamiento se repetirá durante muchos años sin alteraciones.

- **Evitar el estrés:** Es importante intentar proporcionar al alumnado un clima positivo y seguro, evitando palabras y actitudes que provoquen situaciones estresantes en ellos. El estrés, entre otras muchas consecuencias, disminuye la capacidad cognitiva y su estado emocional.
- **Planificar experiencias multisensoriales:** Intentar emplear diferentes recursos para presentar la información de forma atractiva para favorecer el aprendizaje. Las experiencias que nos permiten percibir el mundo a través de todos nuestros sentidos permiten que el aprendizaje sea mucho más significativo.
- **Se aprende con todo el cuerpo:** Un error muy común y repetido desde hace décadas es pensar que el conocimiento y la mente son la misma cosa. Muy lejos de esta teoría, los últimos experimentos nos enseñan que los ejercicios y el movimiento están íntimamente ligados con el aprendizaje, demostrando que cuerpo y cerebro aprenden juntos.

En su libro, [35] *El cerebro humano y el aprendizaje* (1983), Leslie Hart sostiene que enseñar sin saber cómo aprende el cerebro es como diseñar guantes sin tener en cuenta cómo es una mano; su forma, cómo se mueve.

Hart lleva esta analogía incluso más lejos para enfatizar su punto principal: si las aulas deben ser lugares de aprendizaje, entonces “el órgano de aprendizaje”, que es el cerebro, debe ser comprendido y acomodado.

A continuación, se enumeran cinco razones básicas por las que se considera que las neurociencias encajan en el campo pedagógico:

- **Para innovar en los centros educativos y sus propuestas curriculares:** Desde hace años, hemos venido observando que la mayoría de los centros educativos, tanto estructuralmente, como funcionalmente carecen de un proceso de desarrollo y evolución que vaya más allá de las exigencias de los Ministerios de Educación y sus respectivos órganos rectores. Infraestructuras casi arcaicas con un estilo predominantemente conductista, con espacios físicos

rígidos y ambientaciones que, en la mayoría de los casos, por falta de conocimiento del mismo educador, al contrario de lo se pretende, provocan una sobreestimulación multisensorial en el cerebro de los alumnos y en el del mismo docente. Por encima de estos detalles, nos encontramos con algunos espacios físicos reducidos, con un número incomprensible de alumnos por aula y con poca ventilación. Horarios sobrecargados con estimulación cognitiva, consecuencia de una propuesta curricular desmedida y en muchos casos altamente exigente en lo que se refiere a la preparación de los alumnos para un mundo académico competitivo.

Para que el cerebro aprenda de una manera más efectiva, ejercen influencia el ambiente físico donde se desenvuelve el aprendizaje, y como condición sine qua non, la calidad de la propuesta de aprendizaje y el equilibrio entre los ejes; qué, para qué y cómo con el proceso de desarrollo humano. Aunque el cerebro tenga un enorme potencial para aprender que viene programado genéticamente, la enorme influencia del entorno puede matizar este potencial, facilitando o no la adquisición y el procesamiento del conocimiento. Si la neurociencia moderna da un énfasis sin igual a la manera como el ambiente perfila el cerebro y sus habilidades, los educadores han de cuidar el entorno en el cual se encuentran los alumnos tanto en el aspecto estructural como pedagógico.

- **Para mejorar el proceso de enseñanza-aprendizaje:**

Los maestros, todos los días, al iniciar sus actividades pedagógicas, tienen frente a ellos un número enorme de posibilidades de transformar el cerebro de sus alumnos. Tienen, dentro de sus mentes, el gran deseo de que los alumnos aprendan y luego demuestren lo aprendido en una hoja de evaluación. Estos deseos, sumados a las investigaciones que nos señalan cómo el cerebro recibe, procesa, almacena y evoca lo aprendido, y los recursos que utiliza para eso, harían del proceso de enseñanza-aprendizaje un momento más significativo y diversificado que culminaría en

resultados positivos para los maestros y principalmente para el alumno, puesto que "el cerebro que hace es el cerebro que aprende".

- **Para transformar el perfil del educador:**

El educador es una pieza fundamental para la incorporación de los aportes de la Neurociencia en el ámbito educativo. Su capacidad, creatividad, responsabilidad y sus altos conocimientos son sus principales recursos para la transformación en la práctica pedagógica. Sin embargo, tenemos un porcentaje muy alto de educadores que han sido formados bajo el enfoque de corrientes como el conductismo, lo que les da, de alguna manera, formas tradicionales de ver la educación. Complementario a este hecho, están los maestros que no se han dedicado a actualizar conocimientos y a innovar su forma de impartir las clases. Entender cómo aprende el cerebro, cómo funcionan las memorias; operativa, de corto plazo o largo plazo, entender cuáles son los factores que ejercen influencia en el aprendizaje, como es el caso del estado de ánimo por ejemplo, permitirá al educador utilizar elementos que activen el potencial del cerebro de sus alumnos para aprender, pero antes que nada, permitirá al educador recrear su propia misión de vida, valorarse como eje fundamental en el desarrollo de un ser humano y utilizar nuevas estrategias para el aprendizaje.

- **Para brindar nuevas herramientas a los maestros:**

Un número muy grande de educadores en la actualidad aún carece de conocimientos específicos acerca de cómo el cerebro percibe y aprende. La ausencia de estos conocimientos, lamentablemente, se refleja en la práctica pedagógica, donde todavía se observan las tradicionales clases magistrales que no son, de las estrategias de aprendizaje, las más atractivas para el cerebro del alumno.

Las investigaciones nos han demostrado que existen diferentes vías para aprender y diferentes vías para expresar lo aprendido. Si por encima de estas vías colocamos como herramientas pedagógicas matices de estilos propios de aprendizaje, de creatividad, de

imaginación, de música, de movimiento, sólo por mencionar algunas, encontraremos un sin fin de oportunidades de presentar una propuesta de aprendizaje de manera estimulante y diversificada.

- **Para rescatar la atención y revivir el placer de aprender en los alumnos:**

En el desarrollo de la práctica pedagógica, el éxito del aprendizaje empieza con la motivación que siente el alumno por aprender. Esta motivación, desencadena en el cerebro un sistema casi ininterrumpido de acciones que van desde la percepción hasta la evocación del aprendizaje ya integrado funcionalmente. En muchos centros educativos, se viene observando la falta de interés y dedicación por parte de los alumnos en las actividades propuestas. ¿A qué se debe esta falta de interés? Sería injusto encontrar un único responsable, ya que un centro educativo es todo un universo de personalidades, recursos, acciones e influencias. Sin embargo, tenemos que considerar que, según las investigaciones de Gardner, Armstrong, Campbell, entre otros, quienes demuestran a los maestros que sus alumnos son seres únicos y con cerebros que aprenden por múltiples vías, el rescatar la atención del alumno para aprender se encierra básicamente en la actitud del maestro, que al motivarlo, al utilizar nuevos y diversificados elementos que permitan al alumno explorar, aprender y expresarse, logra a la vez, despertar el placer por las propuestas de aprendizaje.

Aunque el estudio acerca de las emociones en el campo neurocientífico sea muy reciente, las investigaciones e hipótesis planteadas por grandes científicos, nos permitieron vislumbrar la enorme influencia del estado de ánimo y de las emociones en el comportamiento humano y en los procesos cognitivos. Partiendo de esta afirmación nos compete cuidar los estados de ánimo personal y del grupo humano que está a nuestro cargo.

El estado de ánimo y las emociones afectan de manera positiva o negativa al cerebro y a sus funciones. Se ha comprobado que el estado de ánimo tanto de

los maestros como de los alumnos ejerce influencia significativa en el aprendizaje y en la predisposición para aprender. Las emociones juegan un papel crucial en el desarrollo humano y puede modular las funciones cerebrales superiores como el lenguaje, la toma de decisiones, la memoria, la percepción y la atención. Un profesor emocionalmente inteligente, que busca entender que, aunque sea la lógica la que establezca una meta (aprender a, b o z), es la emoción que despierta la pasión o la perseverancia para que la meta sea alcanzada. Un desequilibrio emocional ciertamente desequilibrará la capacidad de razonamiento, la memoria, la disposición física, la concentración y otras tantas habilidades. Todo aprendizaje involucra razón, cuerpo y emoción. Por lo tanto, el estado de emoción del maestro y de los alumnos ejercerá una influencia muy significativa en el desarrollo cognitivo y en el aprendizaje. Juegos, buen humor, atención personalizada, cariño, y tantas otras actitudes más pueden redefinir el éxito en el aprendizaje y por qué no, redefinir la relación maestro-alumno y el clima en el aula.

La habilidad de adquirir, formar, conservar y recordar la información depende de factores endógenos y exógenos, de las experiencias y de la metodología de aprendizaje utilizada por el educador. Una de las habilidades cerebrales más importantes para el aprendizaje es la memoria. La memoria no sólo juega un papel fundamental como una habilidad en sí misma, sino que también es una de las herramientas básicas para el buen desarrollo y funcionamiento de otras habilidades. Puesto que el aprendizaje es el objetivo máximo en educación, se hace necesario entender la interdependencia entre memoria y aprendizaje, ya que es a través del aprendizaje como grabamos datos en la memoria para que en un determinado momento puedan ser recuperados, y es la memoria quien recupera y aplica este aprendizaje.

En el campo pedagógico, con cada curso nuevo hay una mayor exigencia de las habilidades relacionadas con la memoria puesto que los aprendizajes se vuelven cada vez más complejos. Es de vital importancia que el educador entienda la estrecha relación entre la memoria y el aprendizaje, para a partir de ahí, pueda planificar estrategias que armonicen con los sistemas naturales que tiene el cerebro para aprender y que realmente permitan que el conocimiento llegue a ser comprendido y almacenado en el cerebro.

Además, tener conocimientos acerca del funcionamiento de la memoria, permitirá al educador personificar el aprendizaje, puesto que cada alumno es un individuo y su capacidad de memorizar va a depender exclusivamente de su cerebro y de la influencia de factores como:

- Consumo de Glucosa.
- Estrés.
- Género.
- Velocidad del Input.
- Niveles de Vitaminas/Minerales.
- Drogas/Medicamentos.
- Tipo de Input.
- Antecedentes del individuo.

2.2. Doce principios de aprendizaje del cerebro/mente:

Entre los muchos partidarios del enfoque de Hart para educar con el diseño y funciones del cerebro en mente están [01] Renate Nummela Caine y Geoffrey Caine, autores de *Making Connections: Teaching and the Human Brain* (1991), [02] *Unleashing the Power of Perceptual Change: The Potential of Brain-Based Teaching* (1997), y [03] *Education on the Edge of Possibility* (1997). Quines se basan en la idea de un aprendizaje compatible con el cerebro, creando una lista de doce principios de aprendizaje cerebro/mente. Estos principios, de acuerdo a Caine y Caine, sintetizan la investigación relacionada con el cerebro y el aprendizaje desde diferentes disciplinas y la presentan de forma que es útil para los educadores. Los doce principios, pueden funcionar como una base teórica para el aprendizaje basado en el cerebro y ofrecer guías y un marco de referencia para la enseñanza y el aprendizaje.

Su enfoque especialmente cauteloso para unir la neurociencia y las prácticas de enseñanza, revela un dilema fundamental e importante: cómo alcanzar un equilibrio entre aprovechar los últimos resultados de las investigaciones, que tienen importantes implicaciones para la educación y evitar grandes conclusiones (y potencialmente irresponsables) con unas bases científicas tenues. En el libro [01] “*Making Connections*”, donde el acercamiento de Caine y

Caine a la educación basada en el cerebro se formaliza, exponen la necesidad de refrenar conclusiones de forma prematura, dada la naturaleza dinámica de la investigación actual del cerebro; tanto en neurociencia como en educación, no hay duda de que se aprenderá mucho más en los próximos años.

Según uno de los más grandes neurocientíficos, Eric Kandel, la Neurociencia moderna representa la unión de grandes ciencias como la anatomía, embriología, neurofisiología, biología celular, biología molecular y psicología, que tiene como una de las metas más desafiantes explicar la relación entre el cerebro y las conductas (social, cognitiva, emocional, ...)

Al igual que Hart, Caine y Caine eligen interpretar la investigación sobre el cerebro en su conjunto. Los 12 principios de enseñanza de cerebro/mente, aunque el nombre pueda llevar a pensar de otra manera, no están basados únicamente en los hallazgos de la neurociencia. En cambio, estos principios y las ideas generadas a partir de ellos provienen de una amplia gama de otras disciplinas, incluyendo psicología cognitiva, sociología, filosofía, educación, tecnología, psicología deportiva, investigación creativa y física. Como explican Caine y Caine, todos los principios son el resultado de investigaciones interdisciplinarias.

Estos principios, según admiten los autores, no son definitivos o cerrados a revisión, según se descubre más acerca del cerebro, cómo aprendemos y recordamos, los educadores necesitarán actualizar sus conocimientos.

No significa que estos principios representen la última palabra en enseñanza. Colectivamente, sin embargo, resultan fundamentales para tener una nueva visión integrada del proceso de aprendizaje y del estudiante. Estos principios nos alejan de la visión del estudiante como una pizarra en blanco y nos llevan hacia la apreciación del hecho de que el cuerpo, el cerebro y la mente son una unidad dinámica.

¿De dónde vienen los doce principios de aprendizaje Cerebro/mente?

Analicemos el principio número 11; “El aprendizaje complejo se ve mejorado por el desafío e inhibido por la amenaza”. Ilustra cómo cada principio deriva de una mezcla de disciplinas. En el libro “Education on the Edge of Possibility”, Caine

and Caine, analizan los orígenes del principio número 11, un principio que muchos defensores de las enseñanzas basadas en el cerebro discuten, pero del cual pocos revelan sus orígenes interdisciplinarios. Los efectos percibidos de amenaza o angustia en las funciones cognitivas llevaron a Caine y Caine a identificar el estado óptimo de la mente para aprender. Para traducir este concepto a términos prácticos, nadie que haya experimentado la idea de “pelea o escapa” identificaría la respuesta del miedo como el estado óptimo para el aprendizaje. La teoría del aprendizaje basado en el cerebro es una combinación de sentido común y ciencia del cerebro en este caso, la reacción psicológica del cerebro al estrés hace de la neurociencia un compañero muy útil para mejorar la educación.

Las áreas de investigación que contribuyeron al principio número 11 incluyen:

- Teoría del estrés.
- Investigación de la ansiedad.
- Autoeficacia.
- Neurociencias.
- Psicología deportiva.
- Creatividad.

Caine y Caine no usan los principios para prescribir ningún método de enseñanza, en cambio se entiende que los principios proporcionan un espacio de trabajo para seleccionar las metodologías que maximizarán el aprendizaje y hacen la enseñanza más efectiva y completa. Abren las puertas para que los educadores incrementen las opciones de enseñanza o sirva como una guía para educadores que ya están trabajando para implementar prácticas de enseñanza compatibles con el cerebro.

A continuación, se detalla la lista completa de los 12 principios de aprendizaje definidos por Caine y Caine:

1. El cerebro es un sistema complejo adaptativo.
2. El cerebro es un cerebro social.
3. La búsqueda de sentido es innata.
4. La búsqueda de sentido ocurre a través de patrones.

5. Las emociones son críticas para el patrón.
6. Cada cerebro simultáneamente percibe y crea partes y conjuntos.
7. El aprendizaje involucra tanto a la atención focalizada como a la atención periférica.
8. El aprendizaje siempre involucra procesos conscientes e inconscientes.
9. Tenemos al menos dos caminos para organizar la memoria.
10. El aprendizaje es desarrollo.
11. El aprendizaje complejo se ve mejorado por el desafío e inhibido por la amenaza.
12. Cada cerebro está organizado de forma única. (Caine y Caine 1997).

2.3. Tres condiciones para el aprendizaje

[01] Caine y Caine concluyen que optimizar el uso del cerebro humano significa usar la infinita capacidad del cerebro para crear conexiones y entender qué condiciones maximizan este proceso. Por lo tanto, identifican tres elementos interactivos y que se soportan mutuamente, que deberían estar presentes para que el aprendizaje complejo ocurra:

- Estado de alerta relajado.
 - Inmersión orquestada.
 - Procesamiento activo.
1. Un estado óptimo de la mente que llamamos estado de alerta relajado, consistente en un estado de baja amenaza y alto desafío.
 2. La inmersión orquestada del estudiante en una experiencia múltiple, compleja y auténtica.
 3. El proceso activo y regular de la experiencia como la base para crear significado. (Caine y Caine 1997)

2.4. Los “neuromitos” que rodean a esta disciplina

Aunque todo parece indicar que el hecho de poder monitorizar la actividad cerebral y comparar sus cambios mientras se realizan diferentes tareas podría ayudar de gran manera a los docentes, la realidad demuestra que también puede perjudicarlos. Esto ocurre cuando los hallazgos de la neurodidáctica se interpretan de forma errónea, generando los denominados “neuromitos”.

Crear estrategias pedagógicas basadas en los neuromitos puede ser muy peligroso, por eso, a continuación, se indican los más comunes y se explica por qué deben ser considerados como mitos:

2.4.1. Si las enseñanzas que recibimos se corresponden con nuestro estilo de aprendizaje, aprenderemos mejor:

Este mito se basa en la teoría de los distintos tipos de inteligencia, y postula que, por ejemplo, los alumnos con inteligencia visual aprenden de mejor forma con vídeos e imágenes. Sin embargo, los descubrimientos de la neurodidáctica únicamente han demostrado que emplear el tipo de inteligencia que posee el alumno como método de enseñanza puede favorecer su aprendizaje, lo que no quiere decir que se deban eliminar los otros métodos. El funcionamiento del cerebro hace que las diferentes regiones se mantengan conectadas, por lo que un estudiante visual también necesitará manipular objetos o recibir estímulos escritos para alcanzar un aprendizaje óptimo.

2.4.2. Los niños que escuchan música clásica son más inteligentes

Es cierto que aprender a tocar un instrumento musical permite desarrollar la motricidad, la audición y otras tantas habilidades, pero no por ello puede decirse que un estilo musical en particular puede generar tal efecto. Este mito es denominado como “el efecto Mozart” surge de la malinterpretación de un estudio de la Universidad de California, que postuló que este tipo de música podría reforzar los procesos creativos y mejorar la concentración.

Este mito fue derribado por un grupo de investigadores de la facultad de Psicología de la Universidad de Viena, que analizaron decenas de

investigaciones vinculadas al denominado “efecto Mozart”. Con este análisis comprobaron que en ninguno de los casos los estudiantes habían presentado mejoras en sus habilidades cognitivas o incrementos en su coeficiente intelectual.

2.5. Ventanas plásticas

Es interesante el concepto de “ventanas” que defiende la Neuroeducación. Francisco Mora lo define como “periodos críticos en los que un aprendizaje se ve más favorecido que otro”.

Así, por ejemplo, para aprender a hablar la “ventana” se abre al nacer y se cierra a los siete años, aproximadamente. Eso no quiere decir que pasada esa edad el niño no pueda adquirir el lenguaje, porque gracias a la plasticidad del cerebro, lo conseguirá, aunque le cueste mucho más, pero asegura Mora, nunca adquirirá el dominio de la lengua que tiene un niño que aprendió a hablar de los 0 a los 3 años.

El hallazgo de la existencia de periodos de aprendizaje hace que las escuelas deban replantearse el modelo educativo.

Para David Bueno (Profesor de genética de la universidad de Barcelona, especializado en la formación del cerebro), “hasta los 10 o 12 años, el cerebro tiene una ventana específica para aprender aptitudes, para manejar información, para razonar. Tal vez esa etapa sea el momento de potenciar la comprensión de un texto; que aprendan a razonar de forma matemática, en lugar de memorizar mucho contenido. En definitiva, trabajar aquellas habilidades que después conformarán un cerebro con ganas de aprender cosas nuevas”.

En algunos casos, el sistema educativo actual choca contra esas “ventanas” cerebrales. Por ejemplo, cuando los niños son muy pequeños, tenerlos sentados en una clase, quietos, “sabemos que influye negativamente en su cerebro”

2.6. Actividad física y desarrollo cognitivo

“Existe una gran cantidad de información obtenida de estudios, realizada en humanos y en animales de laboratorio, respecto a la presunción de que la actividad física especialmente el entrenamiento aeróbico, podría demostrar efectos positivos en muchos aspectos de las funciones cerebrales y cognitivas” Jasmina Pluncevic Gligoroska and Sanja Manchevska (2012).

Cuando se habla de los beneficios del ejercicio físico no se refiere a una vida de deportista sino más bien a actividad física.

El ejercicio físico tiene los siguientes efectos beneficiosos para la salud como indican; La profesora Liliam Barrios y Miguel Angel López (2011) en el estudio “Aportes del ejercicio físico a la actividad cerebral”

1. Mejora la condición física al incrementar el VO2 max (un 30% aproximadamente).
2. Retrasa la aparición de fatiga al disminuir el volumen de oxígeno para una determinada carga de trabajo, con lo que hay una mayor independencia funcional.
3. Disminuye y retrasa el declinar fisiológico de la condición física asociado a la edad, aumentando las expectativas de vida activa al prolongar la independencia funcional.
4. Reduce la morbi-mortalidad consecutiva a las modernas enfermedades crónicas, favoreciendo de esta forma, una mayor longevidad.
5. Protección miocárdica por: menor frecuencia cardiaca y consumo de oxígeno, tanto en reposo como a ejercicio submáximo, mayor calidad de la circulación colateral coronaria.
6. Estimula la respuesta inmune, el ejercicio moderado eleva la proteína Hsp72 en la circulación periférica que estimula la respuesta inmune con una mayor resistencia a las infecciones virales de vías respiratorias altas.
7. Controla la ansiedad y la depresión.
8. Aumenta la autoestima.

9. Mejora la cognición y la eficacia del recuerdo.

10. Ocupa el tiempo de ocio y satisface las necesidades lúdicas.

Según un artículo publicado en Nature de S.A. Neeper; Fernando Gomez-Pinilla; J. Choi & Cotman (1995), sobre las acciones del ejercicio sobre el cerebro, mostraba aumentos en la síntesis de factores neurotróficos en zonas concretas del cerebro en ratones que corrían a diario dentro de sus jaulas, que no se daban en ratones sedentarios. Las neurotrofinas son sustancias de tipo hormonal que ejercen todo tipo de efectos positivos sobre las neuronas adultas, este efecto se ha estudiado durante años y se ha llegado a la conclusión de que la producción cerebral de alguno de estos factores protectores de la salud de las neuronas se estimula por el ejercicio físico (Isaacs et al., 1992; Kramer et al., 1999; Neeper et al., 1996).

Mover el cuerpo mientras se realiza ejercicio requiere una activación cerebral generalizada, ya que no sólo se trata de mover de forma coordinada grupos musculares, sino también de aumentar el flujo sanguíneo, el consumo de glucosa, la respiración, el ritmo cardíaco, la capacidad del sistema sensorial y propioceptivo. Todo esto está regulado por distintos centros nerviosos distribuidos en zonas muy dispares del cerebro. Por lo tanto, el ejercicio físico activa amplias zonas cerebrales y no unas pocas concretas. En neurología se emplea un símil para el fenómeno denominado “plasticidad de las neuronas” y es tratar al cerebro como un músculo más y cuanto más se usa más se desarrolla.

El hecho de que la capacidad funcional de las neuronas dependa del uso que se hace de ellas supone una optimización de recursos, es decir, se dedican a una tarea tantas neuronas como hagan falta y si la tarea cada vez demanda más dedicación, el número o capacidad funcional de las neuronas aumenta. Si una tarea requiere menos esfuerzo las neuronas encargadas de ella se reutilizan en otras tareas o acabarán infrautilizadas. En este contexto la infrautilización determina finalmente una atrofia funcional, por lo que un cerebro menos estimulado está sujeto a mayor deterioro que uno estimulado (Hultsch et al., 1999).

Jensen pone de manifiesto el impacto que la actividad física tiene en el desarrollo cognitivo. Kesslak, Patrick, Cotman, and Gomex-Pinilla (1998), in a study on physical activity and brain-derived neurotrophic factor (BDNF), presentan evidencias que confirman los descubrimientos de Jensen en el procesamiento cognitivo y el ejercicio moderado. El estudio señala que el BDNF es una sustancia natural que mejora la cognición al aumentar la capacidad de las neuronas de comunicarse entre sí. Esto apoya la declaración de Jensen (1995) en la que indica que “el movimiento puede ser una estrategia cognitiva efectiva para reforzar el aprendizaje, mejorar la memoria y recuperar y mejorar la motivación y la moral del alumno”. Jensen afirma que puede encontrarse una unión crítica entre movimiento y aprendizaje en la investigación en el área del cerebro conocida como cerebelo.

De acuerdo a Ivry y Fiez, aunque el cerebelo ocupa la décima parte del cerebro, contiene cerca de la mitad de las neuronas y puede que la parte más completa del cerebro. De acuerdo a Patrick Strick del Veteran Affairs Medical Center of Syracuse, Nueva York, la parte del cerebro que procesa el movimiento es la misma parte que procesa el aprendizaje. Su equipo trazó una ruta desde el cerebelo hasta partes del cerebro que tienen que ver con la memoria, la atención y la percepción espacial. Los nuevos datos de los estudios iniciales usando la imagen por resonancia magnética (fMRI) han demostrado que existen roles paralelos en las estructuras cognitivas tales como el cerebelo. (Jensen, 1995). El oxígeno es esencial para el funcionamiento del cerebro, Jensen por lo tanto sugiere que simplemente la biología apoyaría la conexión entre movimiento y aprendizaje. La actividad física incrementa el flujo sanguíneo, el cual se encarga de mover el oxígeno hacia el cerebro. Los químicos tales como la norepinefrina y la dopamina, los cuales energizan y mejoran el humor, también se incrementan durante el ejercicio físico (Jensen, 1995). Las investigaciones llevadas a cabo entre 2003 y 2007, incluyendo un estudio realizado para examinar los efectos de la actividad física en los logros académicos, también parecen soportar los efectos positivos de una actividad física rigurosa en las escuelas en el desarrollo cognitivo. Maeda y Randall dirigieron un estudio para examinar si dedicar tiempo para una clase de educación física en las escuelas era perjudicial para el éxito

académico de los estudiantes. Encontraron que no sólo no era perjudicial, sino que era beneficioso para el éxito académico de los estudiantes. Los estudiantes obtuvieron un mejor resultado y fueron capaces de realizar más tareas en los días en los cuales acudieron a clases de educación física. Tremarche, Robinson y Graham dirigieron un estudio para revelar el impacto de incrementar la calidad del tiempo de educación física en el Massachusetts Comprehensive Assessment System (MCAS) standardized scores. El estudio implica que los estudiantes que reciben más horas de educación física obtienen mayor puntuación en determinadas áreas del test MCAS.

Otros han usado similares análisis comparativos de las clases de educación física y los logros. Active Living Research por ejemplo, estudió los efectos de la realización de clases de educación física y actividades físicas en los logros académicos en estudiantes de secundaria. Los datos mostraron que los estudiantes que asistían a clases de educación física tienen unos mejores resultados académicos que aquellos que asistían a clases de educación física.

3. Plan de trabajo

Neuroeducación y neurodidáctica son cada vez más importantes en las escuelas que quieren optimizar sus procesos de aprendizaje.

El fracaso académico es uno de los problemas más importantes en el sistema educativo. Por eso es importante aplicar lo que sabemos acerca del cerebro en el campo de la educación.

El entorno más directo para aplicar el aprendizaje basado en el cerebro es por supuesto la escuela.

Los educadores deberían entender el cerebro, cómo este aprende, procesa, registra, almacena y recuerda información, de este modo pueden adaptar su estilo de enseñanza para optimizar el proceso de aprendizaje. Los educadores deberían también entender que la estructura de las aulas, actividades, palabras y emociones tienen una influencia enorme en el desarrollo de los cerebros de sus estudiantes y el modo en el que aprenden.

- **Crear un ambiente emocional positivo en el aula**

Es muy importante que los profesores y educadores promuevan un entorno positivo en las aulas donde se encuentran cerca de los estudiantes y enfatizen con ellos. Es necesario controlar las expresiones emocionales de modo que sean positivas. Se debería evitar el estrés excesivo en las aulas, un nivel bajo de estrés es necesario para mantener a los estudiantes motivados y activos. Sin embargo, altos niveles de estrés son perjudiciales para el rendimiento. También debería enseñarse a los estudiantes cómo manejar su propio estrés y otras emociones negativas las cuales pueden ser muy beneficiosas no sólo en un entorno académico sino a otros niveles de su vida.

- **Fortalecer el aprendizaje emocional**

La emoción está altamente ligada a la memoria. Aprendemos mucho mejor cuando la información evoca una emoción en nosotros. Una buena estrategia para el aprendizaje basado en el cerebro es crear conexiones emocionales en el contexto del aprendizaje. Estas conexiones pueden desarrollar una actividad específica que emocionalmente conecta a los estudiantes con el contenido. Por

ejemplo, se podría combinar artes visuales e interpretativas, de modo que los estudiantes activen una respuesta emocional reforzando el aprendizaje.

- **Enseñar usando diferentes estilos y con diversos medios.**

Podemos reforzar el aprendizaje en cada estudiante usando diferentes estilos de enseñanza, variando las actividades y materias. No todos los estudiantes aprenden bien del mismo modo. Algunos son más visuales, otros más físicos, etc. Usando imágenes, videos, actividades de experiencia, interactividad, música. De este modo estamos usando un aprendizaje basado en el cerebro para estimular todos los sentidos. De este modo los estudiantes aprenden de un modo más completo, beneficiando a todos los tipos de estudiantes.

- **Mantener un entorno físico óptimo**

Los estudiantes aprenden mejor en ciertos entornos físicos. Tenemos una gran capacidad visual y nos encontramos más a gusto con las estimulaciones nuevas que con otro tipo de estimulaciones. Al contribuir a un cambio dinámico en la estructura del aula, podemos ayudar a cuidar a los estudiantes mejor. Cambio, orden y belleza, integrando estos conceptos en cada unidad de aprendizaje se beneficiará al alumno. Una música relajante de fondo puede ayudar a concentrarse a los estudiantes, a relajarse y a sentirse cómodos. La luz natural puede ayudar a proporcionar un espacio óptimo para el aprendizaje. Aulas oscuras y luces fluorescentes crean una luz artificial que no es la ideal para el aprendizaje.

- **Repetir la información de diferentes modos**

Uno de los mejores modos de aprender y almacenar la información en la memoria a largo plazo es repetir la información. Sin embargo, si la materia que se está aprendiendo es repetida del mismo modo una y otra vez, eso puede ser extremadamente aburrido para los estudiantes. Una buena estrategia de la enseñanza basada en el cerebro es repetir la materia de diferentes modos, a través de diferentes actividades y experiencias. De este modo los estudiantes pueden abordar la información de diferentes formas.

- **Fortalecer el aprendizaje significativo**

Es fundamental que los alumnos entiendan la utilidad de lo que están aprendiendo, para mejorar el aprendizaje a largo plazo y permanecer motivados en la escuela. Para entender cómo aplicar lo que están aprendiendo en el mundo real. Esto respondería a la pregunta típica que suelen plantear y es; ¿De qué modo me ayuda aprender esto?

Otra gran estrategia en el aula del aprendizaje basado en el cerebro es usar actividades del mundo real, cómo investigar, diseñar experimentos, crear metáforas, analogías, buscar los patrones de causa y efecto, analizar las perspectivas y actividades artísticas que estimulen la creatividad.

- **Opinar sobre el trabajo realizado por el estudiante**

Opinar sobre el trabajo realizado es fundamental para la enseñanza basada en el cerebro y en el proceso de aprendizaje. Devolviendo una opinión, conociendo lo que el estudiante ha hecho bien y en qué puede mejorar es fundamental para guiar su aprendizaje. Las calificaciones en los exámenes y las marcas rojas en los trabajos no son suficientes. Hay que indicar cuáles fueron los errores cometidos de una forma directa, y también indicar qué se hizo correctamente. De este modo motivamos a los estudiantes y les damos unos patrones concretos para mejorar.

3.1. Estrategias basadas en el funcionamiento del cerebro

3.1.1. Nuestro cerebro cambia y es único

El hecho de que cada cerebro sea único y particular (aunque la anatomía cerebral sea similar en todos los casos) sugiere la necesidad de tener en cuenta la diversidad del alumnado y ser flexible en los procesos de evaluación. Asumiendo que todos los alumnos pueden mejorar, las expectativas del profesor hacia ellos han de ser siempre positivas y no le han de condicionar actitudes o comportamientos pasados negativos.

En cuanto al tratamiento de los trastornos del aprendizaje, hay diferentes programas informáticos que han demostrado su utilidad en la mejora de determinadas capacidades cognitivas como la memoria o la atención. En concreto, Fast ForWord de Scientific Learning Corporation (avalado por Michael

Merzenich) es un programa para estudiantes disléxicos que ha ayudado a compensar las dificultades que tienen con el procesamiento fonológico (ver figura 1). Este tipo de entrenamiento continuo mejora la comprensión del lenguaje, la memoria y la lectura.

3.1.2. Las emociones sí importan

Los docentes hemos de generar climas emocionales positivos que faciliten el aprendizaje y la seguridad de los alumnos. Para ello hemos de mostrarles respeto, escucharlos e interesarnos (no sólo por las cuestiones académicas). La empatía es fundamental para educar desde la comprensión.

Aunque hay muchas actividades en las que se pueden fomentar las competencias emocionales a través de un proceso continuo (se pueden utilizar diferentes recursos didácticos para suscitar la conciencia emocional como videos, fotografías, noticias, canciones, etc.), se propone una relacionada con la lectura (Filella, 2010): se dedica un tiempo semanal en el aula a la lectura individual de textos que el alumno ha elegido según su propio interés (con el paso del tiempo se puede orientar hacia textos específicos). La lectura ha de ser en silencio y, posteriormente, se han de proponer actividades como resúmenes, dibujos, esquemas, relacionados con la misma. Una forma sencilla de mejorar la atención, la comprensión, el aprendizaje y fomentar emociones positivas en el alumnado.

3.1.3. La novedad alimenta la atención

No es suficiente que pidamos a los alumnos que presten atención (“Mamá, no es que tenga déficit de atención, es que no me interesa” se leía en la camiseta de un reconocido investigador) sino que hemos de utilizar estrategias prácticas que fomenten la creatividad y que permitan a los alumnos participar en el proceso de aprendizaje sin ser meros elementos pasivos del mismo.

Para ello, es útil aprovechar los primeros minutos de la clase para enseñar los contenidos más importantes para luego seguir con bloques que no superen los diez o quince minutos y así poder optimizar la atención. Al final de cada bloque se puede dedicar un tiempo para reflexionar sobre lo analizado o, simplemente,

hacer un pequeño parón para afrontar el siguiente. Todo ello debería ser complementado por un profesor activo que se mueve por el aula y cambia el tono de voz porque los contrastes sensoriales atraen la atención del alumno.

3.1.4. El ejercicio físico mejora el aprendizaje

Los estudios demuestran que se han de potenciar las clases de educación física, dedicarles el tiempo suficiente y no colocarlas al final de la jornada académica como se hace normalmente.

Se deberían fomentar las zonas de recreo al aire libre que permitan la actividad física voluntaria y aprovechar los descansos regulares para que los alumnos puedan moverse. Un simple ejercicio antes del comienzo de la clase mejora en los niños su predisposición física y psicológica hacia el aprendizaje, con mayor motivación y atención (Blakemore, 2011).

Junto a la actividad física, son muy importantes también la adecuada hidratación (se ha de permitir a los niños beber agua en clase), hábitos nutricionales apropiados y dormir las horas necesarias (se sabe que los adolescentes necesitan dormir más). Por ello resulta conveniente la enseñanza de estos hábitos no sólo a los alumnos sino también a los padres.

3.1.5. La práctica continua permite mejorar

Los docentes hemos de ayudar a adquirir y mejorar las competencias necesarias según la práctica. Por ejemplo, la práctica continua de cálculos aritméticos y la memorización de la tabla de multiplicar es imprescindible en la resolución de muchos problemas matemáticos o el conocer de memoria las reglas ortográficas es imprescindible para escribir con corrección. El problema reside en que muchas veces la práctica intensiva puede resultar aburrida por lo que sería aconsejable espaciar la práctica en el tiempo (para ello es imprescindible el currículo espiral) y variarla con otras actividades.

3.1.6. El juego nos abre las puertas del mundo

El juego motiva, ayuda a los alumnos a desarrollar su imaginación y a tomar mejores decisiones. Además, existe una gran variedad de juegos que mejoran la atención, uno de los factores críticos en el proceso de aprendizaje: ajedrez, rompecabezas, juegos compartidos, programas de ordenador, es cuestión de integrar adecuadamente el componente lúdico en la actividad diaria.

3.1.7. Somos seres sociales

La colaboración efectiva en el aula requiere algo más que sentar juntos a unos compañeros de clase. Los alumnos han de adquirir una serie de competencias básicas imprescindibles en la comunicación social como el saber escuchar o respetar la opinión divergente. Además, han de tener claro los beneficios de trabajar en grupo y saber cuáles son sus roles en el mismo.

La escuela ha de fomentar también la colaboración entre alumnos de distintos niveles y la compartición de conocimientos (por ejemplo, mediante presentaciones de trabajos de investigación de los alumnos), sin olvidar la realización de actividades interdisciplinares. Y no hemos de olvidar que la escuela ha de abrirse a toda la comunidad.

4. Marco teórico

De acuerdo a Eric. R. Kandel, (Premio Nobel, año 2000) quien señala que, "La Neurociencia, con su capacidad de enlazar la biología molecular y los estudios cognitivos, ha hecho posible que se empiece a explorar la biología del potencial humano, que podamos entender qué nos hace lo que somos". "Es posible que el estudio de la memoria también afecte a la pedagogía sugiriendo métodos de enseñanza basados en el modo en que el cerebro almacena conocimientos"

4.1. Para aprender hay que emocionarse

El principal descubrimiento que la neurodidáctica ha aportado a la Pedagogía es el hecho de que para aprender los estudiantes necesitan emocionarse. Esta afirmación surgió con las conclusiones que obtuvo un equipo de investigadores del Massachusetts Institute of Technology en Boston en el 2010 al estudiar la actividad eléctrica del cerebro de un estudiante durante 24 horas a lo largo de una semana completa. Este experimento permitió demostrar que el modelo pedagógico centrado en el estudiante como receptor pasivo no lograba motivar al estudiante ni concentrar toda su atención en una tarea, por lo tanto, estos investigadores concluyeron que para aprender el cerebro necesita emocionarse.

Este y otros experimentos permitieron demostrar que al adquirir información nueva el cerebro procesa los datos desde el hemisferio derecho, que se relaciona más con las imágenes y la creatividad, por lo que las palabras no tienen una gran incidencia cuando lo que se quiere es enseñar algo nuevo. Gracias a este descubrimiento, la neurodidáctica logró demostrar a los docentes que cuando se busca transmitir información nueva lo mejor es evitar las largas charlas y emplear recursos visuales en la clase.

En el caso de España, las estimaciones han indicado que en la Educación Primaria el 50% del tiempo de clase se dedica a transmitir información de forma verbal, en Educación Secundaria este promedio sube hasta el 60% y en Bachillerato casi del 80%. Por lo tanto, los docentes españoles deben enfrentarse a un cambio rotundo si buscan seguir las recomendaciones de la neurodidáctica, y buscar estrategias educativas que les permitan sustituir las

clases magistrales por mapas conceptuales, gráficos interactivos y vídeos que inciten a la participación del estudiante.

Los seres humanos somos curiosos por naturaleza y, desde el nacimiento, los bebés muestran mayor interés por los sucesos inesperados y se aburren con mayor facilidad con objetos que manifiestan características predecibles [04] (Stahl y Feigenson, 2015).

Disponemos de un sistema de recompensa cerebral que nos permite aprender a través de lo novedoso, lo diferente, lo que, en definitiva, nos motiva. A mayor grado de curiosidad suscitado, se activan regiones de ese sistema de recompensa, en las que se sintetiza dopamina, que conectan con el hipocampo y que nos permiten consolidar las memorias y aprender [05] (Gruber et al., 2016). Para un aprendizaje óptimo lo verdaderamente importante es el valor de lo inesperado, no el valor absoluto del premio: aprendemos cuando tenemos una determinada expectativa y el resultado del comportamiento mejora lo esperado. [13] Francisco Mora (2013) lo resume muy bien: “La curiosidad enciende la emoción. Y con la emoción se abren las ventanas de la atención, foco necesario para la creación de conocimiento”.

4.2. La letra con sangre no entra

El miedo impide la esencia del aprendizaje: integrar los conocimientos en lo ya conocido y transferir el aprendizaje a otras situaciones. La ausencia de miedo hace que los pensamientos sean más amplios, abiertos y libres. Las personas más felices suelen resolver mejor los problemas creativos mostrando una mayor capacidad para asociar ideas lejanas y una atención visual más abierta. Las emociones positivas abren el foco de nuestra atención que posibilita una mayor exploración del entorno, respuestas menos habituales y reflexiones novedosas [07] (Subramaniam et al., 2009).

Como han demostrado los estudios con neuroimágenes, un estado de ánimo positivo es esencial para que se dé un buen aprendizaje. En un interesante experimento [08] (Erk et al., 2003), los participantes vieron imágenes que correspondían a contextos emocionales diferentes (positivos, negativos y neutros) y luego se les mostró palabras que debían memorizar. Cuando se

analizó el cerebro de los participantes durante las tareas se observó que se activaban regiones cerebrales diferentes: el lóbulo frontal en los contextos emocionales neutros, la amígdala en los negativos y regiones del hipocampo ante las situaciones emocionales positivas. En esta última situación recordaban más palabras, lo que sugiere que los climas emocionales positivos son imprescindibles para el aprendizaje. Una muestra más de la estrecha relación que existe entre emoción y cognición.

4.3. ¿Qué funciona en educación?

John Hattie está realizando una de las investigaciones más completas sobre educación de toda la historia. Sus estudios alcanzan ya los 1200 metaanálisis con una muestra total de millones de estudiantes de todas las etapas educativas. Hattie ha identificado 195 factores que inciden sobre el aprendizaje del alumnado y los ha tabulado con una medida estadística conocida como tamaño del efecto. La gran mayoría de los factores analizados tienen una incidencia positiva, lo cual indica que prácticamente todo lo que hacemos en el aula hace que los estudiantes aprendan algo, pero lo que realmente nos debe interesar son las incidencias altas. Entre los efectos mayores encontramos cuestiones emocionales relacionadas con el feedback, la relación entre el profesor y el alumno o la relación entre los propios compañeros. Y entre las tres incidencias con mayores tamaños del efecto están las expectativas del profesor sobre la capacidad de los alumnos, las expectativas de los propios estudiantes y la cooperación entre los docentes [09] (Hattie, 2015). Todo ello requiere una buena educación socioemocional que, en el aula, siempre parte de la formación del profesorado. Y que, por supuesto, no puede obviar la importancia de la familia en el proceso.

4.4. Sin emoción no hay razón

Los estudios longitudinales en los que han participado estudiantes de todas las etapas educativas demuestran, desde otra perspectiva, que no podemos separar lo cognitivo de lo emocional. Cuando se integran programas de aprendizaje

socioemocional bien sistematizados, se observa que los estudiantes van adquiriendo unas competencias emocionales básicas en los tiempos actuales. Por ejemplo, para que exista una buena cooperación se requiere que los alumnos asuman competencias relacionadas con la responsabilidad, la solidaridad, el respeto, y otras muchas. Porque cooperar es más que colaborar. Requiere ese componente empático imprescindible para cultivar unas buenas relaciones humanas. Y la mejora de estas competencias emocionales va asociada a una mejora de su rendimiento académico [11] (Durlak et al., 2011). Junto a esto, se ha comprobado que las funciones ejecutivas del cerebro que nos permiten planificar y tomar decisiones adecuadas se pueden entrenar y mejorar a cualquier edad, y ello resulta fundamental para el bienestar personal del niño o el adolescente, pero también para su éxito académico [10] (Best et al., 2011).

Entre las muchas estrategias posibles para despertar la chispa emocional en el alumno, algunas parecen ser claras:

- Mostrar entusiasmo por lo que hacemos.
- Generar climas emocionales positivos en el aula.
- Fomentar un aprendizaje activo en el que los estudiantes son los protagonistas del mismo.
- Vincular el aprendizaje a situaciones cotidianas.
- Tener en cuenta los intereses y conocimientos previos del alumnado.
- Suministrar retos adecuados y *feedback*
- Favorecer el trabajo cooperativo a todos los niveles.
- Suscitar la curiosidad en los inicios de las clases con conflictos cognitivos y estrategias novedosas.
- Priorizar la educación social y emocional.
- Promover una mentalidad de crecimiento en el aula alejada de etiquetas limitantes.
- Manifestar expectativas positivas sobre la capacidad del alumnado.
- Mirar con afecto a los estudiantes.

“El binomio emoción-cognición es insoluble, intrínseco al diseño anatómico y funcional del cerebro” (Francisco Mora).

4.5. Estrategias basadas en el funcionamiento del cerebro

El artículo “Neuroeducación: estrategias basadas en el funcionamiento del cerebro”, ofrece ocho estrategias fundamentales basadas en el funcionamiento del cerebro y que se consideran imprescindibles en la práctica educativa. Se aportan sugerencias prácticas y se ha seleccionado un artículo de investigación relevante en cada una de estas estrategias. Estas siete estrategias son:

- 1 Nuestro cerebro cambia y es único.
- 2 Las emociones sí importan.
- 3 La novedad alimenta la atención.
- 4 El ejercicio físico mejora el aprendizaje.
- 5 La práctica continua permite progresar.
- 6 El juego nos abre las puertas del mundo.
- 7 Somos seres sociales.

4.5.1. *Nuestro cerebro cambia y es único*

El cerebro humano es extraordinariamente plástico, pudiéndose adaptar su actividad y cambiar su estructura de forma significativa a lo largo de la vida, aunque es más eficiente en los primeros años de desarrollo (periodos sensibles para el aprendizaje). La experiencia modifica nuestro cerebro continuamente fortaleciendo o debilitando las sinapsis que conectan las neuronas, generando así el aprendizaje que es favorecido por el proceso de regeneración neuronal llamado neurogénesis. Desde la perspectiva educativa, esta plasticidad cerebral resulta trascendental porque posibilita la mejora de cualquier alumno y, en concreto, puede actuar como mecanismo compensatorio en trastornos del aprendizaje como la dislexia y el TDAH.

[14] Maguire, E. A. et al. (2000): “Navigation related structural change in the hippocampi of taxi drivers”, PNAS 97.

En este estudio se analizó el hipocampo de los taxistas de Londres, ciudad caracterizada por su amplio callejero. Se comprobó que el tamaño de esta región cerebral, implicada en el aprendizaje y la memoria espacial, era mayor en los

taxistas que en el resto de conductores. Además, el tamaño del hipocampo de los taxistas más expertos era mayor que el de los menos expertos.

4.5.2. Las emociones sí importan

Las emociones son reacciones inconscientes que la naturaleza ha ideado para garantizar la supervivencia y que, por nuestro propio beneficio, hemos de aprender a gestionar (no erradicar). La neurociencia ha demostrado que las emociones mantienen la curiosidad, nos sirven para comunicarnos y son imprescindibles en los procesos de razonamiento y toma de decisiones, es decir, los procesos emocionales y los cognitivos son inseparables (Damasio, 1994). Además, las emociones positivas facilitan la memoria y el aprendizaje [08] (Erk, 2003), mientras que en el estrés crónico la amígdala (una de las regiones cerebrales clave del sistema límbico o “cerebro emocional”) dificulta el paso de información del hipocampo a la corteza prefrontal, sede de las funciones ejecutivas.

Si entendemos la educación como un proceso de aprendizaje para la vida, la educación emocional resulta imprescindible porque contribuye al bienestar personal y social.

[15] Informe Fundación Botín (2008): Educación emocional y social. Análisis internacional. Santander, Fundación Marcelino Botín.

En este estudio internacional basado en cientos de investigaciones en las que han participado más de 500.000 estudiantes de educación infantil, primaria y secundaria se ha demostrado que los programas de educación emocional sistemáticos afectan al desarrollo integral de los alumnos: disminuyen los problemas de disciplina, están más motivados para el estudio, obtienen mejores resultados académicos, muestran actitudes más positivas y mejoran sus relaciones.

4.5.3. La novedad alimenta la atención

La neurociencia ha demostrado la importancia de hacer del aprendizaje una experiencia positiva y agradable. Sabemos que estados emocionales negativos como el miedo o la ansiedad dificultan el proceso de aprendizaje de nuestros alumnos. Pero, en la práctica cotidiana, han predominado los contenidos académicos abstractos, descontextualizados e irrelevantes que dificultan la atención sostenida, que ya de por sí es difícil de mantener durante más de quince minutos (Jensen, 2004). A los seres humanos nos cuesta reflexionar, pero somos curiosos por naturaleza y es esta curiosidad la que activa las emociones que alimentan la atención y facilitan el aprendizaje.

[18] Waelti, P.; Dickinson, A.; Schultz, W. (2001): "Dopamine responses comply with basic assumptions of formal learning theory", Nature 412.

Este estudio demuestra que para optimizar el aprendizaje no es importante la recompensa sino lo inesperado de la misma. Analizando la respuesta de neuronas dopaminérgicas se comprobó que se activaban cuando el organismo tenía una determinada expectativa y la respuesta conductual era mejor de lo que se esperaba. De lo anterior se concluye que, tanto en el nivel neuronal como en el conductual, lo importante para el aprendizaje es la anticipación de la recompensa y no el simple premio.

4.5.4. El ejercicio físico mejora el aprendizaje

La práctica regular de la actividad física (principalmente el ejercicio aeróbico) promueve la neuroplasticidad y la neurogénesis en el hipocampo, facilitando la memoria de largo plazo y un aprendizaje más eficiente. Además, no sólo aporta oxígeno al cerebro optimizando su funcionamiento, sino que genera una respuesta de los neurotransmisores noradrenalina y dopamina que intervienen en los procesos atencionales. El ejercicio físico mejora el estado de ánimo (la dopamina interviene en los procesos de gratificación) y reduce el temido estrés crónico que repercute tan negativamente en el proceso de aprendizaje.

[19] Aberg M. et al. (2009), "Cardiovascular fitness is associated with cognition in young adulthood", PNAS.

Se realizó un estudio longitudinal en el que participaron más de un millón de suecos. Se demostró que las aptitudes físicas entre los 15 y los 18 años predecían la capacidad intelectual a los 18 años de edad, medida con una serie de pruebas de lógica, verbales y visuoespaciales. Además, se comprobó que la resistencia aeróbica durante la adolescencia guarda una relación directa con el nivel socioeconómico y los logros académicos en la edad adulta.

4.5.5. La práctica continua permite progresar

El cerebro conecta la nueva información con la ya conocida, por lo que aprendemos mejor y más rápidamente cuando relacionamos la información novedosa con los conocimientos ya adquiridos. Para optimizar el aprendizaje, el cerebro necesita la repetición de todo aquello que tiene que asimilar. Es mediante la adquisición de toda una serie de automatismos como memorizamos, pero ello requiere tiempo. La automatización de los procesos mentales hace que se consuma poco espacio de la memoria de trabajo (asociada a la corteza prefrontal, sede de las funciones ejecutivas) y sabemos que los alumnos que tienen más espacio en la memoria de trabajo están más dotados para reflexionar (Willingham, 2011).

[20] Bahrick, H.P.; Hall, L.K. (1991): "Lifetime maintenance of high school mathematics content". *Journal of Experimental Psychology: General*, 120.

En este estudio en el que participaron más de mil personas se realizó una prueba de álgebra a personas de distintas edades que habían hecho un curso entre un mes y cincuenta y cinco años antes. Las calificaciones se dividieron en cuatro grupos, atendiendo al nivel de matemáticas mostrado. Los principiantes obtuvieron porcentajes de respuestas correctas más bajos y conforme pasó más tiempo entre la prueba y el último curso de álgebra realizado (entre menos de un año y 55 años) los resultados fueron peores. Sin embargo, los participantes con nivel más avanzado recordaban el álgebra de la misma forma con el paso de los años, lo que indicaba que el tiempo que se pasaba estudiando la materia era el que determinaba lo que se iba a recordar de la misma.

4.5.6. El juego nos abre las puertas del mundo

El juego constituye un mecanismo natural arraigado genéticamente que despierta la curiosidad, es placentero y permite descubrir destrezas útiles para desenvolvernó en el mundo. Los mecanismos cerebrales innatos del niño le permiten, a los pocos meses de edad, aprender jugando. Se libera dopamina que hace que la incertidumbre del juego constituya una auténtica recompensa cerebral y que facilita la transmisión de información entre el hipocampo y la corteza prefrontal, promoviendo la memoria de trabajo. El juego constituye una necesidad para el aprendizaje que no está restringida a ninguna edad, mejora la autoestima, desarrolla la creatividad, aporta bienestar y facilita la socialización. La integración del componente lúdico en la escuela resulta imprescindible porque estimula la curiosidad y esa motivación facilita el aprendizaje.

4.5.7. Somos seres sociales

Los humanos somos seres sociales porque nuestro cerebro se desarrolla en contacto con otros cerebros. El descubrimiento de las neuronas espejo resultó trascendental en este sentido porque estas neuronas motoras permiten explicar cómo se transmitió la cultura a través del aprendizaje por imitación y el desarrollo de la empatía, es decir, qué nos hizo realmente humanos. Se ha demostrado que los bebés con pocos meses de edad ya son capaces de mostrar actitudes altruistas [23] (Warneken, 2007), por lo que hemos de evitar en la educación la propagación de conductas egoístas fruto de la competitividad. El aprendizaje del comportamiento cooperativo se da conviviendo en una comunidad en la que impera la comunicación y en la que podemos y debemos actuar. Cuando se colabora se libera más dopamina y ya sabemos que este neurotransmisor facilita la transmisión de información entre el sistema límbico y el lóbulo frontal, favoreciendo la memoria a largo plazo y reduciendo la ansiedad.

[22] Rilling et al. (2002): "A neural basis for social cooperation", *Neuron*, 35.

En este estudio se demostró en un grupo de 36 mujeres que cuando cooperaban (modelo del dilema del prisionero) se activaba el sistema de motivación y gratificación de la dopamina, reforzando el comportamiento cooperativo,

generándose más altruismo y ayudando a aplazar la recompensa. La implicación de la corteza orbitofrontal en el proceso explica por qué a los niños les cuesta retrasar la gratificación, dado que el proceso de maduración de esta región cerebral se alarga hasta pasada la adolescencia.

4.6. ¿Cómo estimula el ejercicio físico al cerebro?

Los mecanismos mejor conocidos son aquellos de respuesta inmediata a las demandas que el ejercicio produce y que son de tipo adaptativo. Las señales que envía el cuerpo para que el cerebro ponga en marcha las adaptaciones fisiológicas necesarias a la nueva situación que el ejercicio demanda, no están establecidas, pero se cree que incluyen cambios en la concentración de metabolitos sanguíneos, de la concentración de CO₂ en la sangre, del pH sanguíneo y otros.

Hay dos líneas de trabajo independientes que han hecho que se preste más atención a la conexión entre ejercicio físico y funcionamiento cerebral.

La primera se refiere a que el ambiente incide de forma insospechadamente importante en el desarrollo y mantenimiento de la capacidad de aprendizaje y memoria.

Varios experimentos mostraron que los ambientes que proporcionan una mayor cantidad y calidad de estímulos favorecen un mayor desarrollo cerebral, tanto desde el punto de vista anatómico como funcional [29] (Greenough et al., 1987). Estos ambientes se denominan enriquecidos.

Estudios más recientes han demostrado que una parte importante de los efectos beneficios sobre el cerebro de este ambiente enriquecido, se debe a que este ambiente siempre incluye realizar una mayor actividad física.

La simple realización diaria de ejercicio físico es suficiente para hacer que los animales de experimentación produzcan más neuronas o que las que ya tienen no se pierdan a medida que envejecen [30] (Larsen et al., 2000; van Praag et al., 1999).

La segunda línea de trabajo viene derivada del estudio sobre la fisiología del deporte. Analizando cómo se produce el desarrollo muscular por las llamadas

hormonas anabólicas, se vio que el ejercicio estimula la liberación a la sangre de hormona del crecimiento. A su vez esta hormona hace que el hígado produzca un factor de crecimiento denominado IGF-1, que es un factor neurotrófico muy potente [31] (Torres-Alemán, 2001).

Hay suficientes evidencias para pensar que esta sustancia trófica estimulada por el ejercicio es una de las responsables de los efectos beneficiosos del ejercicio físico a nivel cerebral.

Al llegar al cerebro, el IGF-1 estimula la producción de otras sustancias tróficas, incrementa la actividad de las neuronas, mejora la capacidad del cerebro de recibir información del resto del cuerpo, estimula el flujo de sangre al cerebro, aumenta el consumo de glucosa por las neuronas y protege a las neuronas de todo tipo de alteraciones [31] (Torres - Alemán, 2001).

Hasta ahora se han planteado diferentes estudios que ponen de manifiesto la influencia positiva a nivel neuronal del esfuerzo físico sobre el cerebro, a través de las hormonas que son producidas durante la realización del mismo.

A continuación, se muestra una lista con algunos de los estudios que encontraron en sus resultados la influencia positiva del ejercicio físico en diferentes procesos cognitivos.

4.6.1. Ejercicio aeróbico regular para mejorar la atención

Según el estudio de [32] A. Luque-Casado, P. Perakakis, CH. Hillman, SC. Kao (2016) "Differences in sustained attention capacity as a function of aerobic fitness" en el que se compararon a dos grupos de adultos jóvenes; uno con un alto nivel de condición física y otro con un estilo de vida sedentario, durante la realización de una tarea cognitiva de vigilancia psicomotora de 60 minutos.

Se registró la actividad electrofisiológica en los participantes y se observó que aquellos con alto nivel de condición física mantuvieron una mayor amplitud en el potencial P3, lo que se asocia a la capacidad de focalizar la atención de manera eficiente a lo largo de la tarea, en comparación con los participantes sedentarios.

La atención es una función cognitiva de alto nivel y está relacionada con todos los procesos cognitivos. Los hallazgos sugieren que los sujetos que practican

ejercicio presentan un funcionamiento bidireccional entre el sistema nervioso central y autónomo más eficiente, es decir, entre el cerebro y el corazón.

4.6.2. Herramienta preventiva contra la demencia

Según [33] Arthur F. Kramer, Kirk I. Erickson, and Stanley J. Colcombe (2006) “Exercise, cognition, and the aging brain”. El ejercicio físico constituye una estrategia psicosocial prometedora para la intervención de adultos mayores con y sin signos de deterioro cognitivo. Mantener una vida activa puede ser un factor protector para el deterioro cognitivo y en algunos casos con mejores resultados que una intervención concreta. El ejercicio influye en la función cognitiva, la salud vascular y el metabolismo cerebral.

4.6.3. Nos ayuda a memorizar mejor:

[34] Van Dongen et al.(2016): “Physical Exercise Performed Four Hours after Learning Improves Memory Retention and Increases Hippocampal Pattern Similarity during Retrieval”. Se realizó un estudio con el objetivo de conocer el efecto de practicar deporte después de memorizar cierta información. Para ello, participaron 72 sujetos que estudiaron la posición de 90 dibujos durante 40 minutos, para después asignar a cada uno de los participantes a uno de los tres grupos.

En el primero, los sujetos realizan ejercicio justo después de terminar la tarea de memoria, el segundo grupo 4 horas más tarde y el tercero no realizaba ninguna actividad física. 48 horas después, los sujetos volvían a hacer un test para observar qué recordaban de la tarea de memoria mientras se les realizaba una resonancia magnética.

Los resultados apuntaron a que los sujetos del grupo que había realizado ejercicio 4 horas después de memorizar la tarea, retenían mejor la información que los otros dos grupos. Las resonancias magnéticas también mostraron representaciones más precisas en el hipocampo, área cerebral relacionada con el aprendizaje y la memoria, cada vez que el sujeto respondía de manera correcta.

5. Conclusiones

“Hemos de erradicar la enseñanza centrada en la transmisión de una serie de conceptos abstractos y descontextualizados que no tienen ninguna aplicación práctica. Nuestros alumnos han de aprender a aprender y la escuela ha de facilitar la adquisición de una serie de habilidades útiles que permitan resolver los problemas que nos plantee la vida cotidiana: un aprendizaje para la vida. Y para ello se requiere inteligencia principalmente socioemocional”.

Francisco Mora, catedrático de Fisiología Humana (Universidad Complutense) y catedrático adscrito de Fisiología Molecular y Biofísica (Universidad de Iowa, EEUU). Autor de Neurocultura y Neuroeducación. “La neuroeducación es una nueva visión de la enseñanza basada en el cerebro. Es una visión que ha nacido al amparo de esa revolución cultural que ha venido en llamarse Neurocultura. La neuroeducación aprovecha los conocimientos sobre cómo funciona el cerebro integrados con la psicología, la sociología y la medicina, en un intento de mejorar y potenciar tanto los procesos de aprendizaje y memoria de los estudiantes, como los de enseñanza por parte de los profesores”.

La neurociencia enseña hoy que el binomio emoción-cognición es insoluble, intrínseco al diseño anatómico y funcional del cerebro. Este diseño, labrado a lo largo de muchos millones de años de proceso evolutivo, nos indica que toda información sensorial, antes de ser procesada por la corteza cerebral en sus áreas de asociación (procesos mentales, cognitivos), pasa por el sistema límbico o cerebro emocional, en donde adquiere un tinte, un colorido emocional. Y es después, en esas áreas de asociación, en donde, en redes neuronales distribuidas, se crean los abstractos, las ideas, los elementos básicos del pensamiento.

Los seres humanos no somos seres racionales a secas, sino más bien seres primero emocionales y luego racionales. Y, además, sociales. La naturaleza humana se basa en una herencia escrita en códigos de nuestro cerebro profundo, y eso lo impregna todo, lo que incluye nuestra vida personal y social cotidiana y nuestros pensamientos y razonamientos. Esa realidad se debe poner hoy encima de cualquier mesa de discusión sobre la educación del ser humano.

Es esta realidad la que nos lleva a entender que un enfoque emocional es nuclear para aprender y memorizar, y, desde luego, para enseñar. Y nos lleva a entender que lo que mejor se aprende es aquello que se ama, aquello que te dice algo, aquello que, de alguna manera, resuena y es consonante (es decir, vibra en la misma frecuencia) con lo que emocionalmente llevas dentro.

Con todo lo que antecede, es claro, como ya he señalado, que lo que enciende el aprendizaje es la emoción y, en ella, la curiosidad y, luego, la atención. Pero la atención no se puede suscitar simplemente demandándola, ni la curiosidad tampoco. Hay que evocarlas desde dentro del que aprende.

Hoy comenzamos a saber que lo que llamamos curiosidad no es un fenómeno cerebral singular, sino que hay circuitos neuronales diferentes para curiosidades diferentes, y que no es lo mismo la curiosidad perceptual diversificada, aquella que despierta de modo común en todo el mundo cuando se ve algo extraño y nuevo, que aquella otra conocida como curiosidad epistémica, que es la que conduce a la búsqueda específica del conocimiento.

Es claro, además, que todos estos procesos difieren en el niño y el adulto, y aun en el niño para cada edad. Claramente el tiempo atencional que precisa el niño no es el mismo que el requerido por el adulto para atender una percepción concreta simple o aprender un concepto abstracto altamente complejo. Precisamente, conocer los tiempos cerebrales que se necesitan para mantener la atención a cada edad o periodo de la vida puede ayudar a ajustar tiempos de atención reales durante el aprendizaje en clase de una manera eficiente. Y también conocer cómo estos tiempos pueden ser modificados.

Más allá, la neuroeducación intentar destruir los neuromitos (falsos conocimientos extraídos de la neurociencia) y conocer la influencia de los ritmos circadianos, el sueño y su poderosa influencia en el estudio, o factores tan importantes como la arquitectura del colegio, el ruido, la luz, la temperatura, los colores de las paredes o la orientación del aula.

La neuroeducación es, pues, un campo de la neurociencia nuevo, abierto, lleno de enormes posibilidades que eventualmente debe proporcionar herramientas útiles que ayuden a aprender y enseñar mejor, y alcanzar un conocimiento mejor

en un mundo cada vez de más calado abstracto y simbólico y mayor complejidad social.

Según [24] Gligoroska, et al. (2012) crecen el número de estudios que indican que el ejercicio físico produce beneficios en diferentes funciones cognitivas. Estos estudios sugieren que la actividad física mejora; funciones ejecutivas, la atención, la velocidad cognitiva y la memoria episódica.

El entrenamiento cardiovascular se ha relacionado con la mejora de las funciones cognitivas en personas ancianas.

Sujetos sedentarios que han participado en un protocolo con ejercicio aeróbico cardiovascular tuvieron un beneficio significativo en el aumento tanto de materia gris como blanca en diferentes áreas del cerebro, tales como el córtex prefrontal y temporal.

Se ha sugerido que el ejercicio aeróbico es importante no sólo para detener la disminución de neuronas causada por el envejecimiento, sino que es un mecanismo potencialmente eficiente para recuperar algunas funciones normales que han sido perturbadas debido a las reducciones en la estructura del cerebro relacionadas con la edad.

También se ha sugerido que la actividad física es una herramienta útil para la reducción del riesgo del deterioro cognitivo relacionado con la edad.

Hay evidencias tanto a nivel molecular y celular como a nivel de comportamiento y sistémico, las cuales enfatizan la promoción de la actividad física a lo largo de la vida, para la prevención de las enfermedades contemporáneas y el declive cognitivo y neurológico de la población.

6. Biografía/referencias

- [01] Caine, R. N., & Caine, G. (1994). *Making connections: Teaching and the human brain*. Menlo Park, Calif: Addison-Wesley Pub. Co.
- [02] Caine, R. N., & Caine, G. (1994). *Unleashing the Power of Perceptual Change: The Potential of Brain-Based Teaching*.
- [03] Caine, R. N., & Caine, G. (1994). *Education on the Edge of Possibility*.
- [04] Stahl, A. E., & Feigenson, L. (2015). Observing the unexpected enhances infants' learning and exploration. *Science*, 348(6230), 91-94.
- [05] Gruber, M. et al. 2016. Post-learning Hippocampal Dynamics promote preferential retention of rewarding events. *Neuron* 89(5), pp. 1110-1120.
- [07] Subramaniam K, Kounios J, Parrish T B, et al. A brain mechanism for facilitation of insight by positive affect. *J Cogn Neurosci*, 2009.
- [08] Erk S., Kiefer M., Grothe J., Wunderlich A. P., Spitzer M., Walter H. Emotional context modulates subsequent memory effect. *NeuroImage*. 2003;18:439–447.
- [09] John Hattie. *Lo que no funciona en educación, la política de la distracción*, 2015.
- [10] Best J. R. et al. (2011): "Relations between executive function and academic achievement from ages 5 to 17 in a large, representative national sample". *Learning and Individual Differences* 21, 327-336.
- [11] Durlak, J.A. et al. (2011): "The impact of enhancing students' social and emotional learning: a meta-analysis of school-based universal interventions". *Child Development*, 82, 405-32.
- [12] Hattie J. (2015): "The applicability of visible learning to higher education". *Scholarship of Teaching and Learning in Psychology* 1(1), 79–91.
- [13] Mora, Francisco (2013). *Neuroeducación: sólo se puede aprender aquello que se ama*. Madrid: Alianza Editorial.

- [14] Maguire, E. A. et al. (2000): "Navigation related structural change in the hippocampi of taxi drivers", PNAS 97.
- [15] Informe Fundación Botín (2008): Educación emocional y social. Análisis internacional. Santander, Fundación Marcelino Botín.
- [16] Agulló, M.J., Filella, G., García, E., López-Cassà, E. & Bisquerra, R. (Coord.). (2010). La educación emocional en la práctica. Barcelona: Horsori-ICE.
- [17] Jensen, Eric (2004) "Cerebro y aprendizaje. Competencias e implicaciones educativas" Madrid: Narcea S.A. Ediciones.
- [18] Waelti, P.; Dickinson, A.; Schultz, W. (2001): "Dopamine responses comply with basic assumptions of formal learning theory", Nature 412.
- [19] Aberg M. et al. (2009), "Cardiovascular fitness is associated with cognition in young adulthood", PNAS.
- [20] Bahrick, H.P.; Hall, L.K. (1991): "Lifetime maintenance of high school mathematics content". Journal of Experimental Psychology: General, 120.
- [21] Wandell, B. et al. (2008): "Training in the arts, reading and brain imaging" en "Learning, arts and the brain: the Dana Consortium Report on Arts and Cognition", Dana Press.
- [22] Rilling et al. (2002): "A neural basis for social cooperation", Neuron, 35.
- [23] Warneken F., Tomasello M., (2007): "Helping and cooperation at 14 months of age", Infancy 11.
- [24] Jasmina Pluncevic Gligoroska and Sanja Manchevska (2012). The Effect of Physical Activity on Cognition – Physiological Mechanisms. Mater Sociomed. 2012; 24(3): 198–202. Doi: 10.5455/msm.2012.24.198-202.
- [25] Liliam Barrios y Miguel Angel López (2011). Aportes del ejercicio físico a la actividad cerebral. EFDeportes.com.
- [26] S.A. Neeper; Fernando Gomez-Pinilla; J. Choi & Cotman (1995). Exercise and brain neurotrophins. Nature. 1995 Jan 12;373(6510):109. doi: 10.1038/373109a0.
- [27] Isaacs et al., (1992); Kramer et al., (1999); Neeper et al., (1996).

- [28] Hultsch et al., (1999).
- [29] Greenough et al., (1987).
- [30] Larsen et al., 2000; van Praag et al., (1999).
- [31] Torres-Alemán, (2001).
- [32] A. Luque-Casado, P. Perakakis, CH. Hillman, SC. Kao (2016) Differences in sustained attention capacity as a function of aerobic fitness. *Medicine & Science in Sports & Exercise*. Volume 48 - Issue 5 - p 887–895. doi: 10.1249/MSS.0000000000000857.
- [33] Arthur F. Kramer, Kirk I. Erickson, and Stanley J. Colcombe (2006). Exercise, cognition, and the aging brain.
- [34] Van Dongen et al. (2016). Physical Exercise Performed Four Hours after Learning Improves Memory Retention and Increases Hippocampal Pattern Similarity during Retrieval.
- [35] Leslie Hart (1983). *Human Brain & Human Learning*.